



Wehranlage Türkheim – Wertach

Wasserbaulicher Modellversuch:


Verbesserung der Energieumwandlung Ermittlung der erforderlichen hydraulischen Konturen

Versuchsbericht Nr. 330


Auftraggeber: Fa. Ruf
Kraftwerks GmbH

Obernach im August 1997:


Projektbearbeitung:


(Dipl.-Ing. A. Sepp)

Projektleitung:


(Prof. Dr.-Ing. J. Knauss)

Direktor der Versuchsanstalt:


(Univ. Prof. Dr.-Ing. Th. Strobl)

Inhaltsverzeichnis

1. Veranlassung und Aufgabenstellung
2. Das Modell
 - 2.1 Maßstabswahl, Ähnlichkeit
 - 2.2 Modellaufbau
 - 2.3 Beurteilungskriterien
3. Versuchsdurchführung und Ergebnisse
 - 3.1 Bestehende Wehranlage
 - 3.2 Untersuchte Formen
 - 3.3 Ausführungsvorschlag
 - 3.4 Abflußleistung der neuen Wehranlage
4. Zusammenfassung und Schlußbetrachtung

Anlagen

- 1 Modellübersichtsplan
- 2.1 bis 2.3 Längsschnitt der untersuchten Wehrformen
- 3 Ausführungsvorschlag
- 4.1 Abflußleistung Ausführungsvorschlag
- 4.2 Abflußleistung bestehende Anlage

Fotoseiten 1 bis 9

1. Veranlassung und Aufgabenstellung

Die Wehranlage Türkheim/Wertach bei Fluß-km 43,8 hat seit 1995 neben der Funktion der Sohlstabilisierung auch die Aufgabe zur Stauerzeugung für ein Wasserkraftwerk, nachdem die Fa. Ruf Kraftwerks GmbH ein Buchtenkraftwerk erstellte. Das zur Verfügung stehende Wasserdargebot ($Q_T = 21 \text{ m}^3/\text{s}$) wird bei einer Fallhöhe bis über 6 m zur Stromerzeugung genutzt.

Die bestehende 35 m breite Wehranlage ist aufgrund der Eintiefungen im Unterwasser in den letzten Jahrzehnten einerseits bei Auftreten von Extremhochwässern (HQ_{100}) stand-sicherheitsgefährdet und andererseits aufgrund der festen Überlaufkrone auf Kote 588,92 mNN für eine planfestgestellte Stauhaltung mit Stauziel 590,00 mNN für den Kraftwerksbetrieb ungeeignet.

Bei der Planung für das Kraftwerk war ursprünglich etwa 20 m unterhalb der jetzigen Wehrkrone die Verschlussebene für ein neues dreifeldriges Wehr mit zwei Stauklappen und einem Zugsegment vorgesehen. Für die Energieumwandlung der Wehranlage wählte das Planungsbüro Lahmeyer International München ein Muldentosbecken.

Aufgrund der hohen Bau- und auch Unterhaltskosten hat sich der Kraftwerksbetreiber dafür entschieden, eine alternative Anlage untersuchen zu lassen. Vorgabe der Untersuchung war es, den bestehenden Wehrkörper in das Planungskonzept mit einzubeziehen. Die Höhe der Wehrkrone war so festzulegen, daß das Bemessungshochwasser = $HQ_{100} = 370 \text{ m}^3/\text{s}$ unterhalb der Wasserspiegelkote von 591,24 mNN abgeführt werden kann. Die aufwendigen beweglichen Verschlüsse sollten durch ein einfaches Schlauchwehr ersetzt werden, bei dem eine Anwendung der n-1 Regel entfällt.

Die Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München in Oberrach wurde beauftragt, die Kontur der alternativen Wehranlage zu entwerfen und in einem wasserbaulichen Modell zu untersuchen. Die Unterwasserabflußkurve konnte aus der Wasserspiegelberechnung vom Planungsbüro LI übernommen werden und ist in Tabelle 1 dargestellt.

| Q [m^3/s] | WSP - Unterwasser [mNN] |
|-----------------------------|-------------------------|
| 50 | 584,43 |
| 100 | 585,14 |
| 150 | 585,76 |
| 200 | 586,25 |
| 250 | 586,74 |
| 300 | 587,16 |
| 320 | 587,33 |
| 350 | 587,56 |
| 370 | 587,73 |

Tabelle 1: Unterwasserabflußkurve

2. Das Modell

Aufgrund der Aufgabenstellung konnte die Untersuchung in einem Ausschnittmodell durchgeführt werden. Von der 35 m breiten Wehranlage wurden im Modell 10 m Breite abgebildet.

2.1 Maßstabswahl, Ähnlichkeit

Das geometrische Maßstabsverhältnis von Natur zu Modell wurde für die Wehranlage Türkheim mit

$$M = 1 : 20$$

gewählt.

Bei der vorgegebenen Untersuchung wird die Strömung primär von Schwere- und Trägheitskräften bestimmt, sodaß für die Versuchsdurchführung das Froude'sche Ähnlichkeitsgesetz zu berücksichtigen war. Bei der gewählten Maßstabszahl $\lambda = 20$ ergaben sich somit folgende Umrechnungszahlen:

| | | |
|---------------------------|-----------------------|------------|
| geometrische Abmessungen | $1 : \lambda =$ | $1 : 20$ |
| Abflüsse | $1 : \lambda^{5/2} =$ | $1 : 1789$ |
| Geschwindigkeiten, Zeiten | $1 : \lambda^{1/2} =$ | $1 : 4,47$ |
| Kräfte, Gewicht | $1 : \lambda^3 =$ | $1 : 8000$ |

In dem gewählten Ausschnittmodell entspricht somit der Bemessungsabfluß von 370 m³/s rund 59,1 l/s, die mittlere Fließgeschwindigkeit im Unterwasser stellt sich bei diesem Abfluß im Modell mit ca. 52 cm/s ein.

2.2 Modellaufbau

Der Wehrkörper einschließlich der bestehenden Spundwände wurde im Modell aus rotem PVC erstellt und in eine 50 cm breite und 15 m lange Versuchsrinne eingebaut. Die Kontur im Bereich der Energieumwandlung nach dem Sturzboden wurde aus Quarzitgestein nachgebildet.

Die oberwasserseitige Sohle wurde im Modell horizontal auf Kote 588,25 mNN gelegt und besteht ebenfalls aus PVC. Die Sohle unterhalb des Wehres wurde in Kies mit der Körnung 8/16 mm dargestellt. Die linke Seite des Modellgerinnes ist durchgehend aus Beton erstellt, die rechte Wand besteht mit Ausnahme des Zulaufbereiches aus Plexiglas, um einen Einblick in das Modell auch von der Seite zu ermöglichen.

Der Wasserzulauf zum Modellgerinne erfolgt über einen geeichten Meßüberfall und ein Zulaufbecken, der Unterwasserstand wird über eine Klappe reguliert. Die Wasserstände konnten direkt oder über angeschlossene Standzylinder mit Stechpegeln gemessen werden.

In der Anlage 1 ist ein Übersichtsplan des Versuchsstandes dargestellt, auf den Fotos 1 bis 3 ist die Gesamtansicht des Modells zu sehen.

2.3 Beurteilungskriterien

Das Beurteilungs- bzw. Vergleichskriterium für die Wirksamkeit der Energieumwandlung beschränkte sich zunächst auf die Beobachtung des Abflußgeschehens nach Augenschein. Es wurde dabei vorwiegend die Wechsellagerung- und Deckwalzenbildung, Strömungsstruktur und Makroturbulenzen, Wellenhöhen sowie das Auftreten von oszillierenden oder pulsierenden Abflüssen bewertet. Zusätzlich konnte durch Betrachtung der beweglichen Sohle die Effektivität der Energieumwandlung qualitativ bewertet werden. Um die hydraulische Wirksamkeit der Tosbeckeneinbauten auch quantitativ beurteilen zu können, wurden für die repräsentativen Lastfälle die Geschwindigkeitsprofile in Gerinnemitte am Ende des Kolksschutzes mit Meßflügel aufgemessen.

3. Versuchsdurchführung und Ergebnisse

Die Versuchsdurchführung erfolgte bei allen Wehrformen für einen Abflußbereich über das Wehr zwischen $50 \text{ m}^3/\text{s}$ und $370 \text{ m}^3/\text{s}$. Eine Fotodokumentation wurde für alle untersuchten Formen analog den Abflüssen in Tabelle 1 durchgeführt. Als weiterer Untersuchungspunkt wurde für die vorhandenen Wehrhöcker und den geplanten Absturz bei gelegtem Schlauchwehr die Abflußleistung in Abhängigkeit vom Oberwasserspiegel ermittelt. Aufgrund des Ausschnittmodells ist die in der Natur vorhandene Querschnittsaufweitung im Oberwasser verzerrt abgebildet, d.h. im Modell stellen sich höhere Geschwindigkeiten ein und die Wasserspiegellagen im Oberwasser sind kleiner als in der Natur. Eine Übertragung der Modelldaten auf die Natur kann deshalb nur über die Energiehöhen erfolgen.

3.1 Bestehende Wehranlage

Als erster Untersuchungsschritt wurde die bestehende Wehranlage nach den Planunterlagen vom Wasserwirtschaftsamt Krumbach vom 19. 7. 1979 im Modell abgebildet (siehe Anlage 2.1) und die Energieumwandlung überprüft. Die Untersuchungen haben gezeigt, daß bis zu einem Abfluß von ca. $300 \text{ m}^3/\text{s}$ in der vorhandenen Mulde nach dem Sturzbo den sich ein Wechsellagerung einstellt, aber zugleich eine Sohleintiefung entsteht. Mit zunehmender Abflußsteigerung erfolgt nur noch eine unkontrollierte Energieumwandlung, bei dem Bemessungsabfluß von $370 \text{ m}^3/\text{s}$ schießt der Eintrittsstrahl durch die Mulde. Die Sohle wird stark erodiert und die vorhandene Steinschüttung nach der Spundwand ins Unterwasser abgetragen. Auf den Fotoseiten 2 und 3 ist die bestehende Wehranlage bei verschiedenen Abflüssen abgebildet.

Ergänzend wurde auch für den bestehenden Wehrhöcker die Abflußleistung im Modell gemessen. Der Wasserspiegel des Ausschnittmodells ist für km 43,82 in Anlage 4.2 dargestellt. Der Oberwasserstand in der Natur wird wegen der vorhandenen Quer-

schnittsaufweitung höher liegen und kann rechnerisch über die Energiehöhe ermittelt werden.

3.2 Untersuchte Formen

Für alle weiteren untersuchten Wehrformen wurde im Modell der bestehende Wehrkörper mit der Kote 588,92 mNN durch einen Absturz (Geometrie siehe Anlage 3) nach rechnerischer Vorermittlung mit Kote 588,20 mNN ersetzt. Das Schlauchwehr ist konstruktiv vor dem Absturz verankert und wird im umgelegten Zustand etwa 5 cm auftragen, sodaß die hydraulisch maßgebende Kronenkote auf 588,25 mNN liegt.

Form A: rauhe Sohlrampe

Aufgrund des standsicherheitsgefährdeten Zustandes der bestehenden Wehranlage wurde mit einer Blocksteinrampe zunächst eine Bauwerksform gewählt, die neben einer möglicherweise kontrollierten Energieumwandlung auch eine statische Sicherheit der alten Wehranlage bietet.

Im Modell wurde eine 1:8 geneigte rauhe Sohlrampe nach dem Ende des Sturzbodens von Kote 586,38 auf Kote 583,0 mNN eingebaut, der Blocksteinfuß mit einer Spundwand gesichert und Kolkenschutzsteine nachgeschaltet, siehe auch Anlage 2.2. Auf dem vorhandenen Sturzboden sollte durch den Einbau von Blockreihen ein Wechselsprung erzeugt werden, die weitere Energieumwandlung sollte auf der Sohlrampe erfolgen. Die Modelluntersuchungen haben jedoch gezeigt (Fotodokumentation auf Fotoseite 4), daß trotz Einbauten auf dem Sturzboden keine ausreichende Energieumwandlung stattfindet und die hydraulische Wirksamkeit der Blocksteinrampe nur bei kleineren Abflüssen vorhanden ist. Bei Abflüssen über $200 \text{ m}^3/\text{s}$ bleibt das Steingefüge der Rampe zwar stabil, starke Wellenbildung im Unterwasser und Sohlerosion in der Flußsohle belegen jedoch die fehlende Effektivität der Energieumwandlung auf der Rampe. Aufgrund dieser Ergebnisse wurden deshalb auch keine weiteren Untersuchungen mit flacher geneigten Rampen und größeren Rauigkeitserhebungen durchgeführt.

Form B: Mulde mit Schwelle

Bei der nächsten untersuchten Form wurde im Modell nach dem Sturzboden eine Mulde aus glatt verlegten Steinen mit der Kantenlänge von 1,20 m eingebaut. Aus statischen Gründen wurde wiederum eine glattverlegte Steinrampe mit der Neigung 1: 1,5 von der Oberkante des Sturzbodens auf die Muldensohle mit der Kote 581,00 mNN verlegt. Nach einem 4 m langen horizontalen Bereich mit dieser Höhenlage wird die Muldenform mit rau verlegten Steinen zur Flußsohle auf Kote 583,20 mNN hochgeführt und mit einer Spundwand abgesichert. Ein Längsschnitt ist in Anlage 2.3 dargestellt.

Das Ergebnis der Modelluntersuchungen kann wie folgt zusammengefaßt werden:

Bis zu einem Abfluß von ca. $300 \text{ m}^3/\text{s}$ erfolgt in der Mulde ein relativ stabiler Wechselsprung; ungünstig ist jedoch bei kleinen Abflüssen die Prallwirkung des Schußstrahles auf den oberen Bereich der Rampe. Bei Abflüssen größer $300 \text{ m}^3/\text{s}$ wird der Wechsel-

sprung in der Mulde instabil; beim Bemessungsabfluß wandert die Deckwalze ins Unterwasser. Verursacht wird die Instabilität des Wechselsprungs bei größeren Abflüssen durch den hohen Unterwasserstand. Der Abflußstrahl taucht nicht mehr in die Mulde ein; die durch die Muldenform erzeugte hydraulische Stützkraftwirkung entfällt. Um die Strahlführung in die Mulde zu verändern, wurde im Modell am Ende des Sturzbodens eine auf der Anströmungsseite um 45° angeschrägte Schwelle mit unterschiedlichen Höhen eingebaut. Die hydraulische Wirkung der Schwellenform war eindeutig. Der Strahl wird durch die Schwelle hochgeführt und taucht im gesamten Abflußspektrum in die Mulde ein, es findet ein stabiler Wechselsprung statt.

Bei einer gewählten Schwellenhöhe von 1,40 m wird bis zu einem Abfluß von $370 \text{ m}^3/\text{s}$ auch auf dem Sturzboden ein Wechselsprung erzeugt. Die weitere Energieumwandlung in der Mulde ist sehr effektiv, d. h. nach dem Ende des Kolkschutzes entstehen nur Wellen mit geringer Höhe; die Flußsohle wird nicht erodiert. Eine Instabilität der Energieumwandlung erfolgt beim Bemessungsabfluß erst bei einem um 70 cm höheren Unterwasserstand.

Form C: Mulde mit Schwelle und Strahlteiler

In einem weiteren Untersuchungsabschnitt wurde im Modell eine Schwellenform mit aufgesetzten Strahlteilern getestet (siehe Anlage 2.4). Von dieser neuen Schwellenform wurde eine noch stabilere Strahlführung erwartet, die wiederum eine Vergleichmäßigung der Strömungsstruktur bewirken sollte.

Bei der Beurteilung der Energieumwandlung nach Augenschein konnte im Vergleich zur einfachen Schwelle keine deutliche Verbesserung festgestellt werden. Erst durch Flügelmessungen wurde festgestellt, daß die sohnahen Geschwindigkeiten der Strömung am Ende des Kolkschutzes im Vergleich zur Form B etwas geringer sind. Außerdem beginnt die Instabilität des Wechselsprungs erst bei einem Unterwasserstand, der rund 1,00 m über der rechnerischen Abflußkurve liegt. Ein Vergleich der Abflußbilder für $Q = 320 \text{ m}^3/\text{s}$ von den Formen B und C sowie der Mulde ohne Schwelle ist auf Fotoseite 6 zu sehen.

3.3 Ausführungsvorschlag

Die bisherigen Untersuchungsergebnisse haben gezeigt, daß auch mit Einbindung der bestehenden Wehranlage eine effektive und sichere Energieumwandlung erzielt werden kann.

Im Juni 1997 wurden dem Auftraggeber die Modellergebnisse vorgestellt und dabei konstruktive Details sowie das Sanierungskonzept der alten Anlage diskutiert. Es wurde dabei der ursprüngliche Planungsentwurf, die Standsicherheit auf eine entsprechend tiefe und statisch dimensionierte Spundwand zu übertragen, in den weiteren Modellbau mit aufgenommen. Die neue Spundwand ist ca. 1 m unterhalb der bestehenden alten Spundwand vorgesehen. Bei dieser Lösung kann auch die bis zur Muldensohle geführte Steinrampe flacher und tiefer ausgeführt werden.

In den Versuchsstand wurden die besprochenen Bauwerksänderungen eingebaut und die hydraulische Wirksamkeit der Energieumwandlung nochmals überprüft. Das Modell hat

bestätigt, daß bei der vorgeschlagenen Wehrform die Anforderungen an Energieumwandlungsanlagen nach DIN 19700 voll erfüllt werden:

Auf dem Sturzboden findet für das gesamte Abflußspektrum ein erster Wechselsprung statt, in die nachgeschaltete Mulde wird der Abflußstrahl über die Schwelle so geführt, daß sich bei allen Abflüssen die weitere Energieumwandlung in einem zweiten Wechselsprung vollzieht und zugleich eine ausreichende Sicherheit gegen das Abwandern der Deckwalze gewährleistet ist. Die im Ausführungsvorschlag tiefer gelegte Rampe zur Muldensohle hat zudem den Vorteil, daß der Überfallstrahl auch bei kleinen Abflüssen auf ein Wasserpolster in die Mulde fällt und somit das Steingefüge weniger belastet wird.

Durch eine rauh verlegte ansteigende Steinrampe zwischen Mulden- und Flußsohle werden die sohnnahen Fließgeschwindigkeiten reduziert. Aufgrund der kontinuierlichen Querschnittsminderungen Richtung Unterwasser wird die Strömung beschleunigt, das Geschwindigkeitsprofil vergleichmäßigt und es treten nur noch niedrige Wellenhöhen in der weiteren Fließstrecke auf.

Die konstruktive Gestaltung des Ausführungsvorschlages für die Wehranlage Türkheim ist in Anlage 3 im Längsschnitt dargestellt. Eine Bilddokumentation ist auf den Fotoseiten 7 bis 9 zu sehen.

Für den ausgerundeten und 1 : 1 geneigten Absturz sowie für den Sturzboden ist die Ausführung in Stahlbeton vorgesehen. Der maßgebende Lastfall für die Auftriebssicherung der Platte tritt bei nichtüberströmtem Wehr auf. Bei Abfluß über das Wehr wird durch die Schwelle eine Wasserauflast auf der Platte erzeugt, die einen statisch günstigeren Lastfall darstellt. Die Schwelle wird in der konstruktiv einfachen Form ohne Strahlteiler vorgeschlagen, auf der Vorderseite ist ein Kantenschutz vorzusehen. Für die statische Bemessung der Schwelle ist eine Dreieckslast auf die Frontfläche anzusetzen. Der im Modell gemessene hydrodynamische Druck wurde auf Kote 590,10 mNN ermittelt.

Die Kontur der Mulde ist mit einer Steingröße mit der Kantenlänge von ca. 1,20 m auf erosionssicherem Untergrund glatt und weitgehend geschlossen zu verlegen. Die Rampe zur Flußsohle ist auch auf erosionssicherem Untergrund, aber rauh einzubauen, die Kantenlänge der Steine kann zum Rampenende von 1,00 auf 0,50 m reduziert werden. Die gesamte Bauwerkslänge beträgt 27,0 m. Eine Spundwandsicherung am Rampenabschluß wird empfohlen. Ein anschließender Kolkschutz ist nur bei anstehender Kiessohle notwendig. Nachweis der statischen Standsicherheit war nicht Aufgabe des Modellversuchs und muß von einem Fachbüro geführt werden.

3.4 Abflußleistung der neuen Wehranlage

Die gewählte Höhenlage des Absturzes liegt bei umgelegtem Schlauch auf Kote 588,25 mNN. Im Modell wurde die hydraulische Abflußleistung in Abhängigkeit vom Oberwasserspiegel ermittelt, eine graphische Darstellung ist in Anlage 4.2 aufgetragen. Wie unter Abschnitt 3 schon erwähnt, kann in einem Ausschnittmodell die Wasserspiegellage nicht direkt auf die Natur übertragen werden. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Geschwindigkeitshöhen konnte rechnerisch nachgewiesen werden, daß beim Bemessungsabfluß von $370 \text{ m}^3/\text{s}$ der Oberwasserstand unterhalb der im Wasserrechtsbescheid vorgegebenen Kote von 591,24 mNN liegt. Im Modell wurde ferner ermittelt, daß bei

allen Abflüssen der WSP unterhalb der Absturzkronen liegt und somit ein vollkommener Überfall vorhanden ist.

4. Zusammenfassung und Schlußbetrachtung

Mit Hilfe eines wasserbaulichen Modellversuchs konnte nachgewiesen werden, daß mit der vorhandenen Geometrie der bestehenden Wehranlage in Türkheim durch die bauliche Erweiterung mit einem Tosbecken in Muldenform eine Effektivität der Energieumwandlung erreicht wird, die den neuen unter- und oberwasserseitigen Gegebenheiten entspricht. Die vorgeschlagene Bauwerkskontur ist in Anlage 3 dargestellt.

Eine wesentliche hydraulische Funktion hat die versuchstechnisch entwickelte Schwelle. Sie bewirkt eine Energieumwandlung in zwei Stufen:

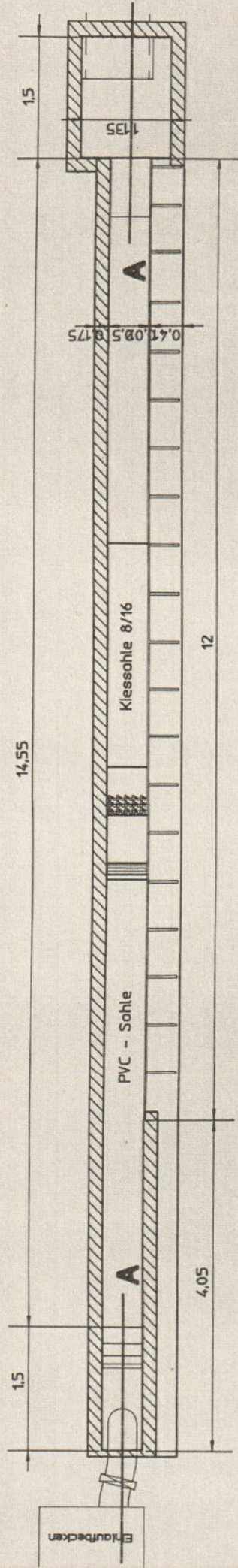
Nach dem ersten Wechselsprung auf dem Sturzboden wird speziell bei größeren Abflüssen ein gewisser Sprungschanzeneffekt erzielt, der für das gesamte Abflußspektrum ein Strahleintauchen in die Mulde garantiert und einen zweiten Wechselsprung mit hoher Energieumwandlung bewirkt. Durch diese Strahlführung sowie Form und Größe der Mulde ist eine hohe Sicherheit gegen das Abwandern der Deckwalze - auch bei sich ändernden Unterwasserständen - gegeben.

Das Modell wurde am 28.7.1997 dem Auftraggeber und Vertretern des WWA Krumbach vorgeführt und abgenommen.

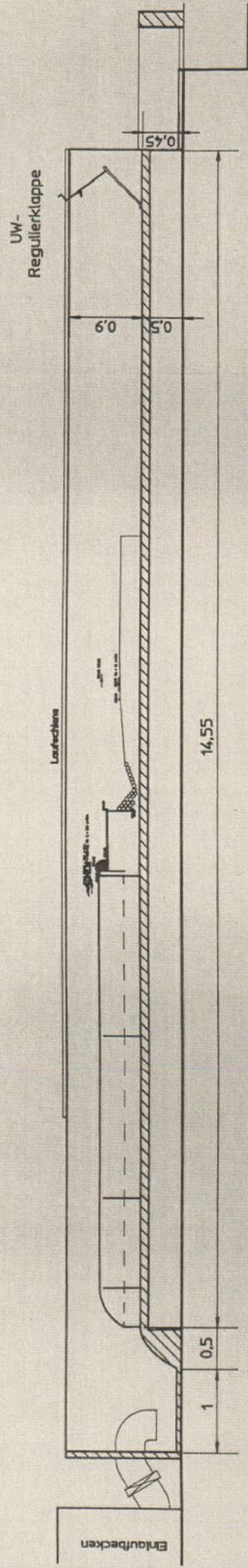
Modellübersichtsplan

Anlage 1

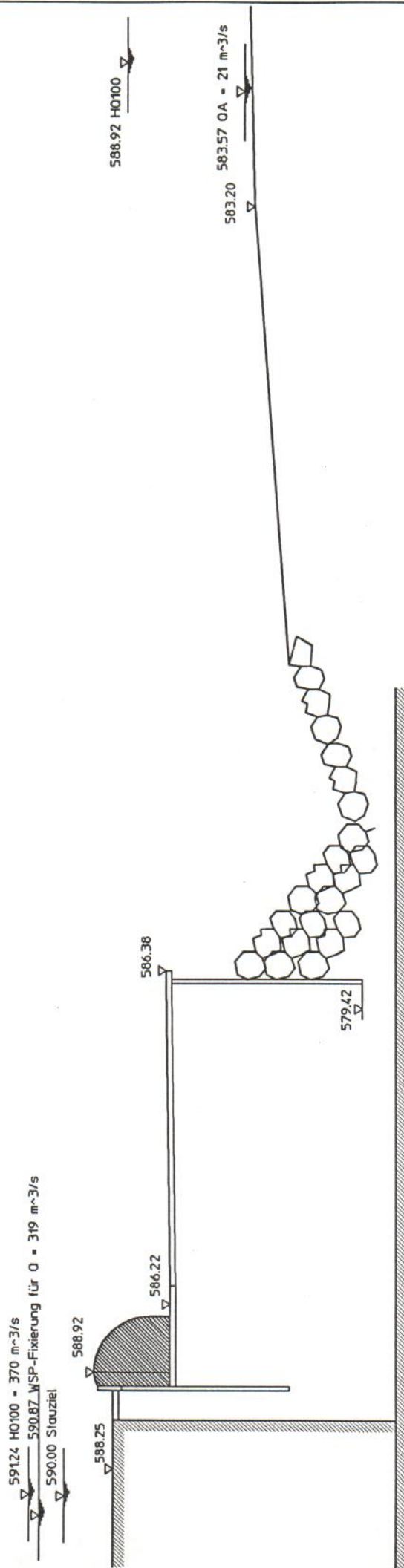
Wehr Türkheim: Modellmaßstab = 20
bestehende Anlage



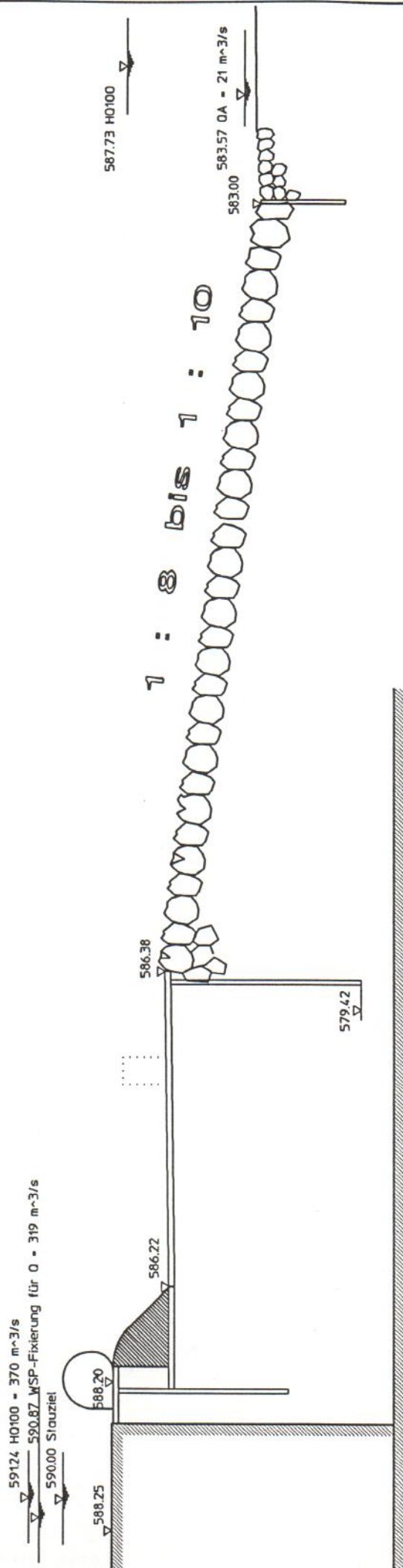
Schnitt A-A



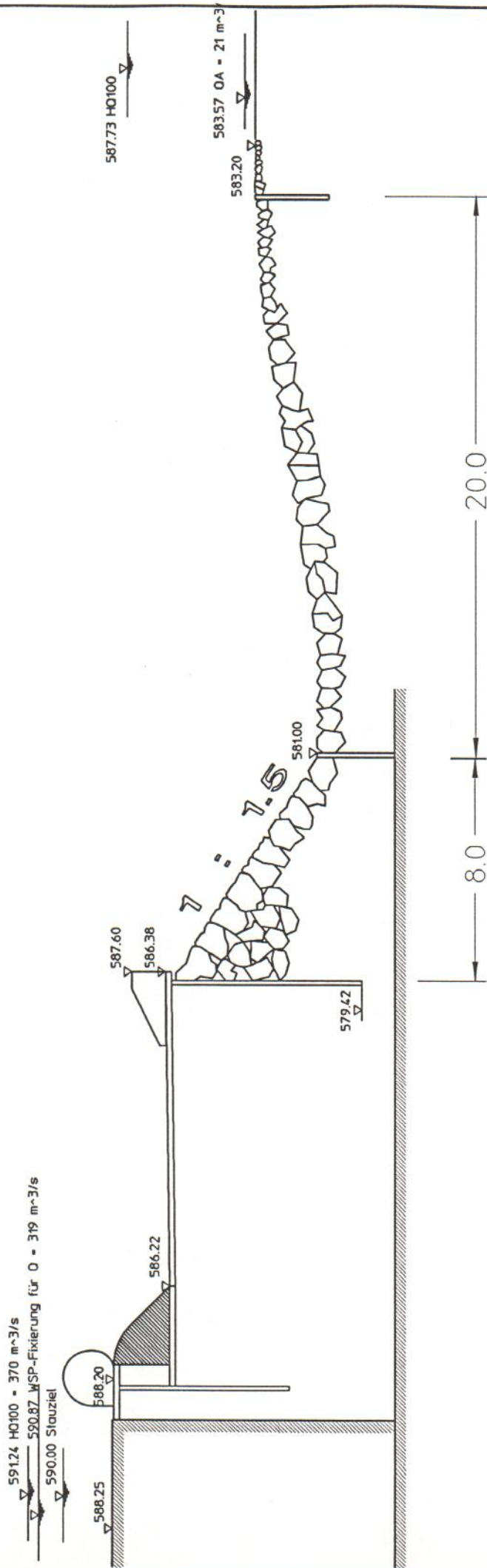
Wehr Türkheim: M = 1:200
bestehende Anlage



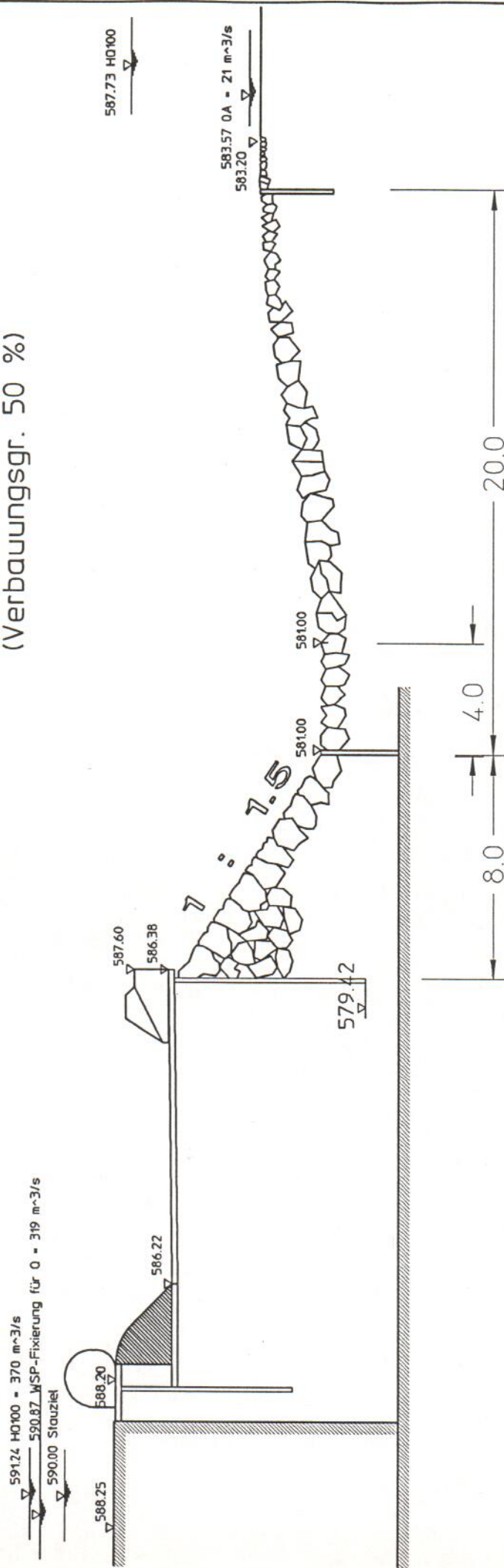
Wehr Türkheim: $M = 1:200$
Form A: rauhe Sohlrampe



Wehr Türkheim: M = 1:200
Form B: Mulde m. Schwelle

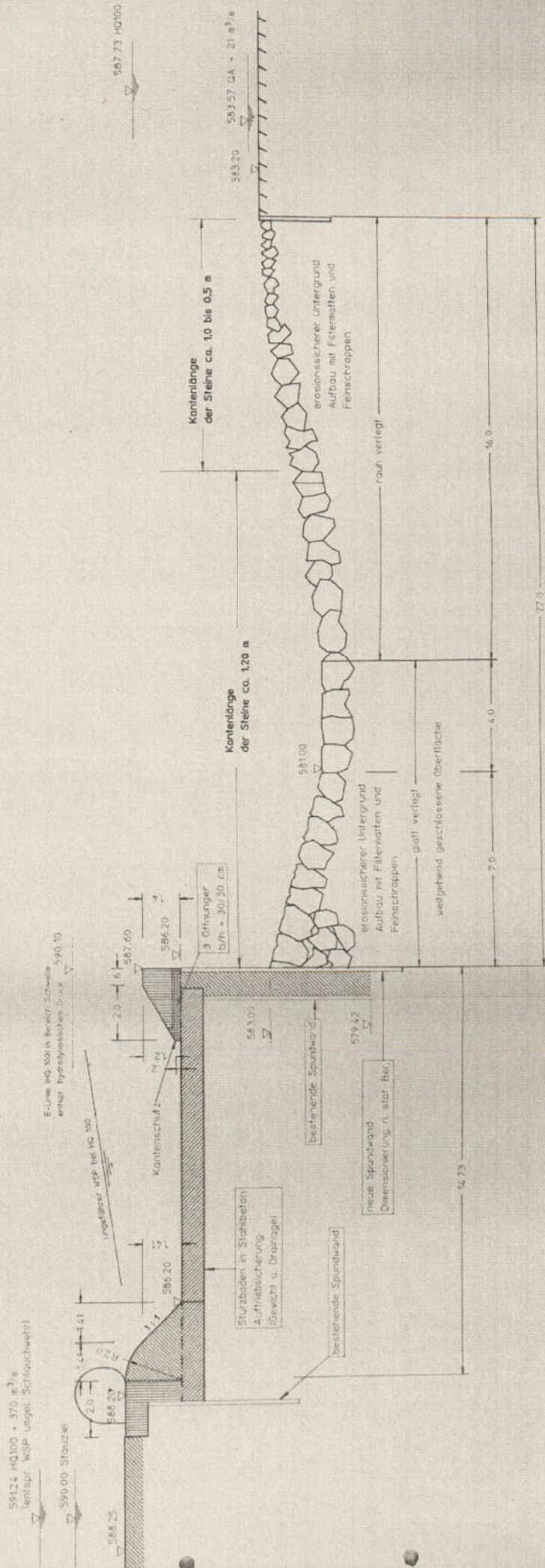


Wehr Türkheim: $M = 1:200$
 Form C: Mulde mit Schwelle
 und Strahlteiler $b = 80 \text{ cm}$
 (Verbauungsgr. 50 %)



Wehr Türkheim - Wertach

Verbesserung der Energieumwandlung
 Ermittlung der erforderlichen hydraulischen Konturen
 Ausführungsvorschlag der VA0, Regelquerschnitt



| | | |
|---|-----------------------|-----------------------|
| Blatt 1/1 1:100 | Name Wehr Türkheim | Blatt 1/1 1:100 |
| | | |
| Wehr Türkheim Regelquerschnitt Energieumwandlung | | |
| Anlage 3 | | Blatt 1/1 1:100 |

Wehranlage Türkheim: WSP 20 m im OW (km 43.82) Ausführungsvorschlag

Anlage 4.1

[mNN]

591.50

HQ 100 = 591.24

591.00

590.50

590.00

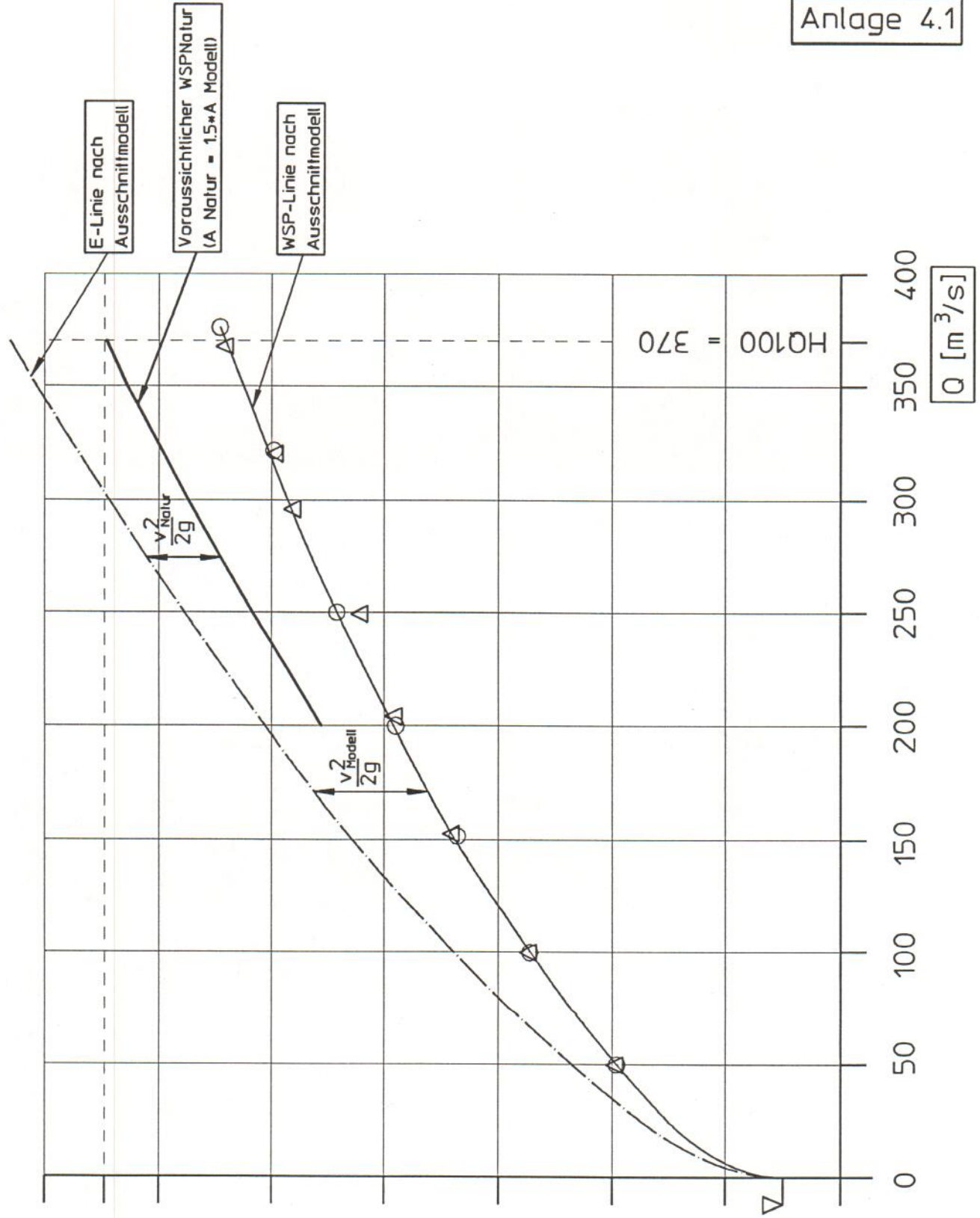
589.50

589.00

588.50

OK Abst. 588.25

588.00

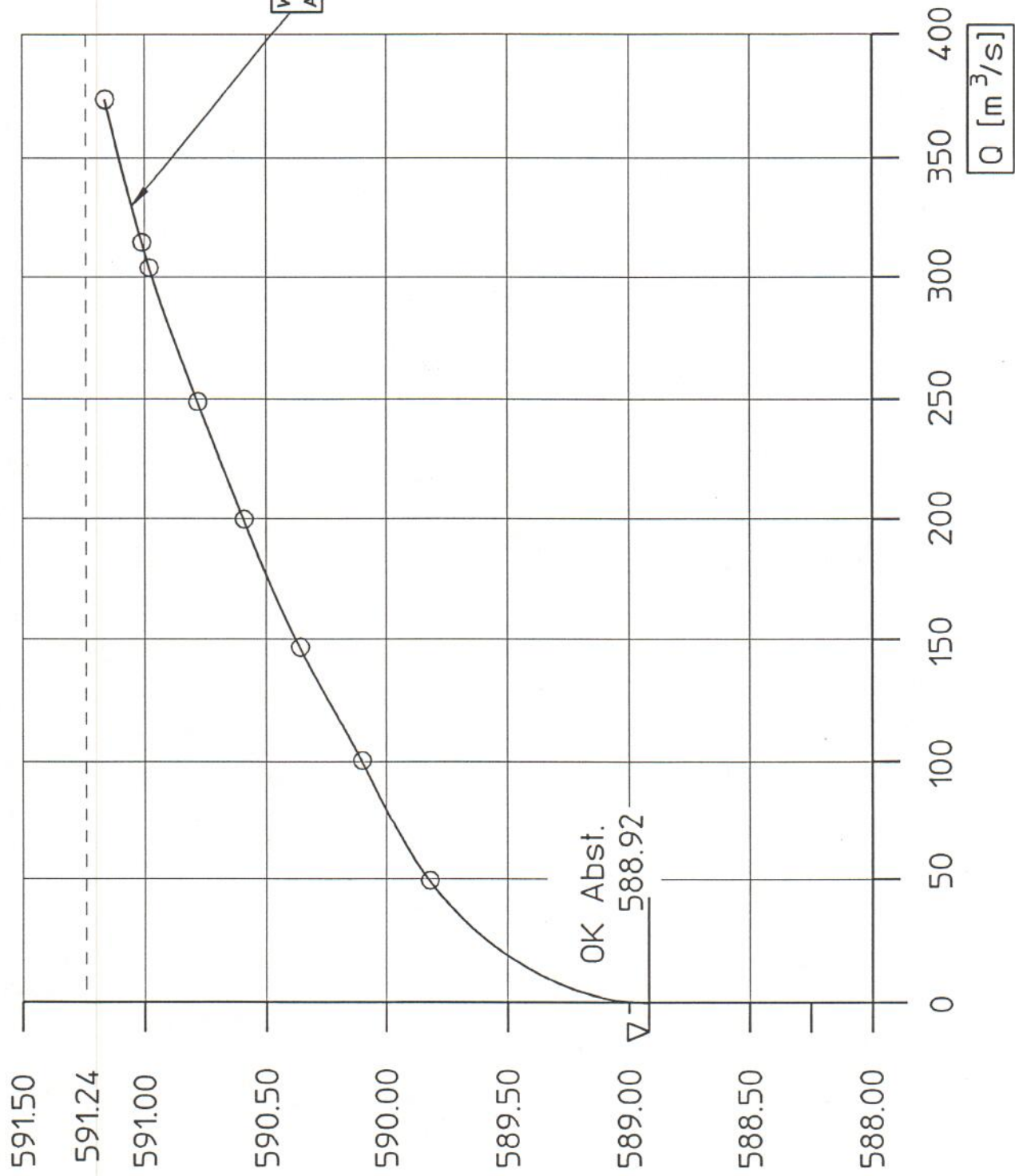


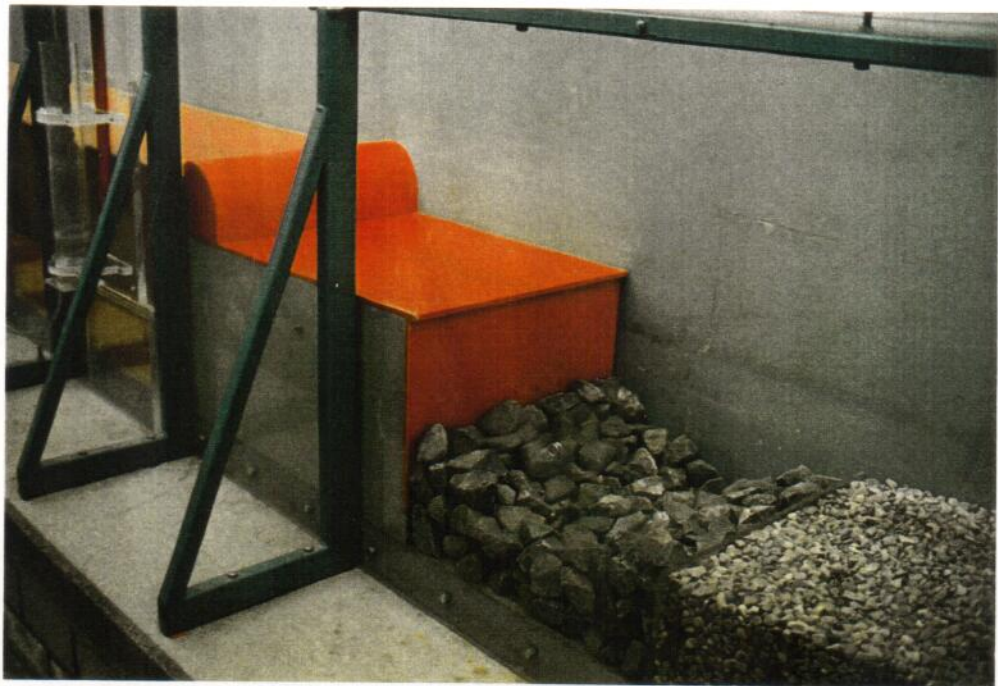
[m³/s]

Türkheim, AK.A

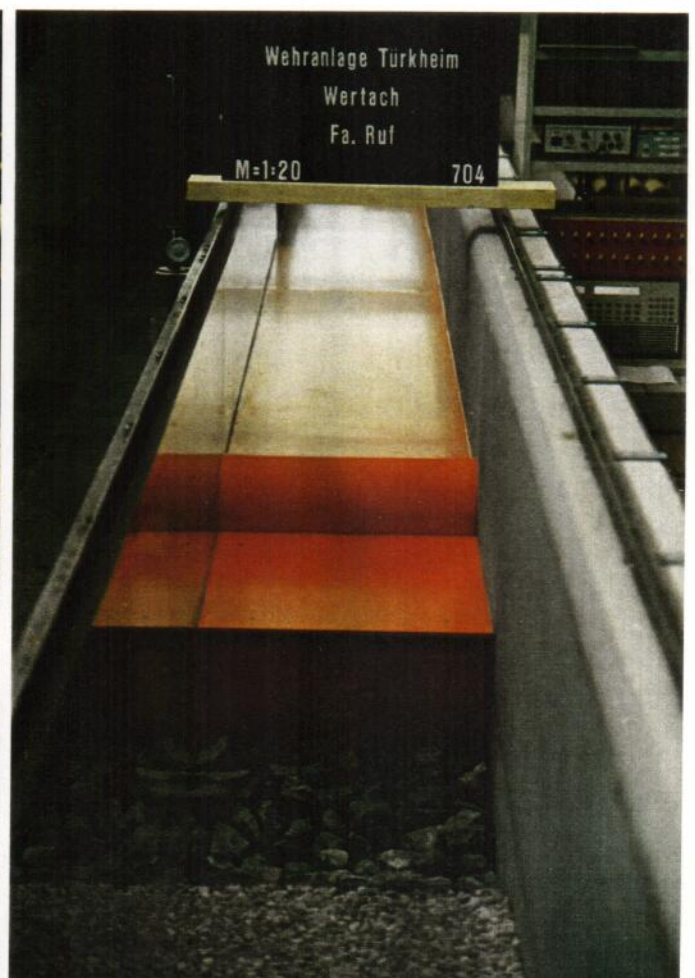
Wehranlage Türkheim: WSP 20 m im OW (km 43.82) bestehende Anlage

mNN

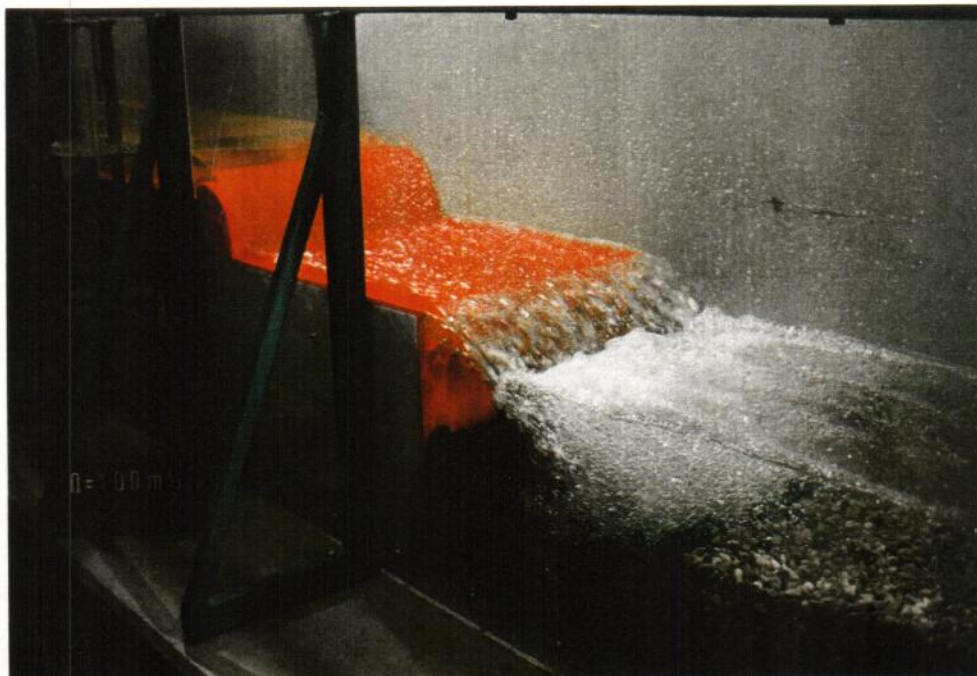




Nr. 1: Modellansicht von der bestehenden Wehranlage



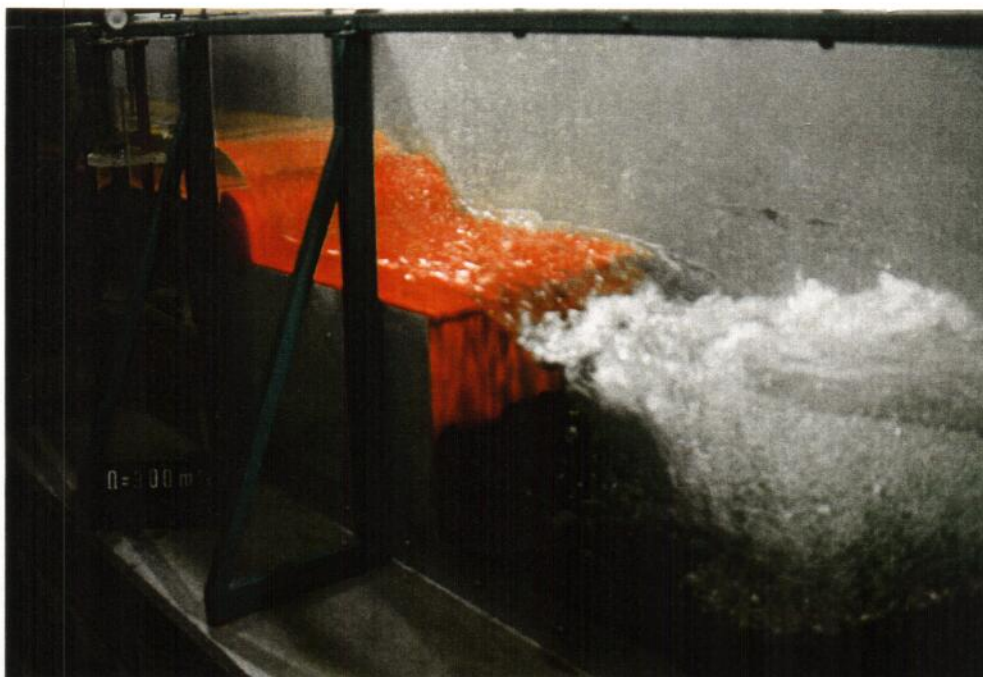
Nr. 2 und 3: Gesamtansicht des Modells von unterwasser



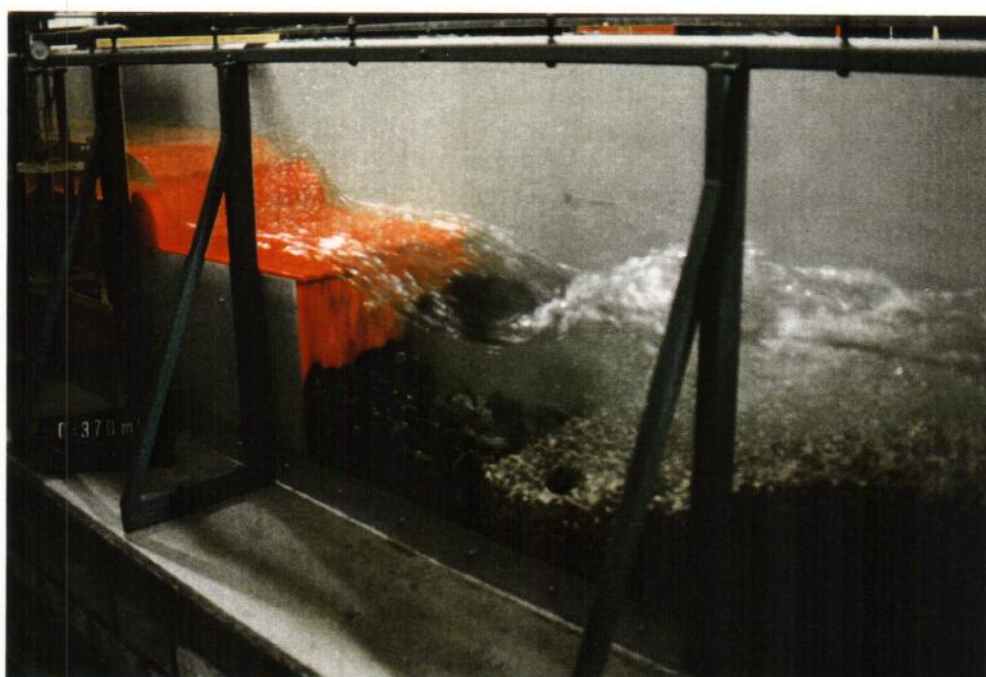
Nr. 4: Istzustand, $Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$



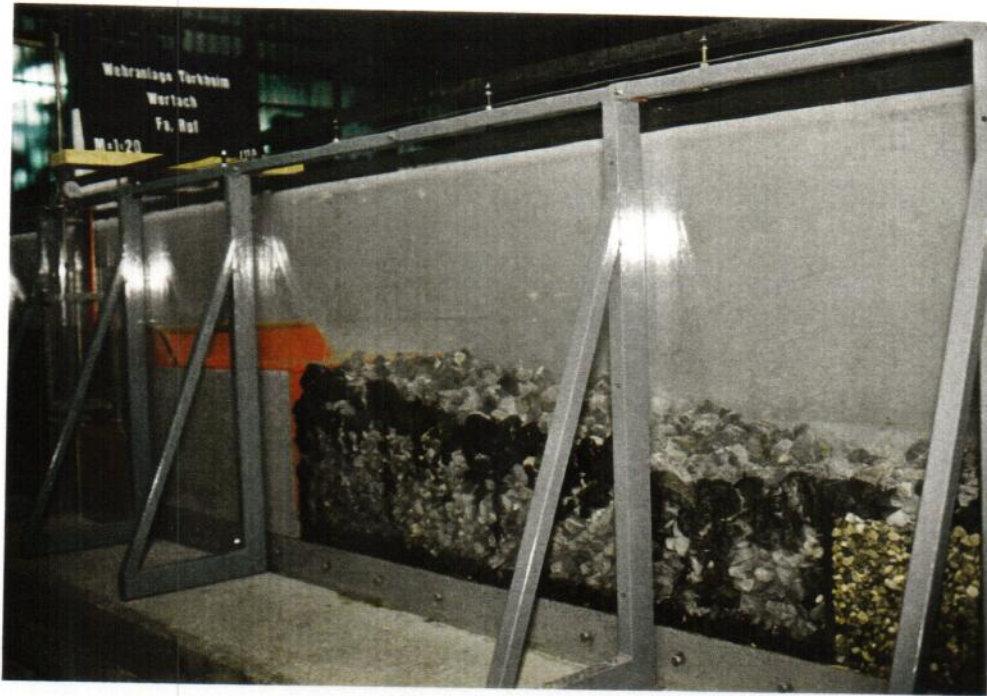
Nr. 5: Istzustand, $Q = 200 \text{ m}^3/\text{s}$



Nr. 6: Istzustand, $Q = 300 \text{ m}^3/\text{s}$



Nr. 7: Istzustand, $Q = 370 \text{ m}^3/\text{s}$



Nr. 8: Form A: rauhe Sohlrampe, Ansicht von der Seite



Nr. 9 und 10: Form A: rauhe Sohlrampe bei $Q = 200$ und $370 \text{ m}^3/\text{s}$



Nr. 11: Form B: Mulde mit Schwelle, Ansicht von der Seite



Nr. 12: Form C: Mulde mit Schwelle und Strahlteiler

Fotoseite 6

$Q = 320 \text{ m}^3/\text{s}$



Bild 13:
Mulde ohne
Schwelle



Bild 14:
Form B:
Mulde mit
Schwelle



Bild 15:
Form C:
Mulde mit
Schwelle und
Strahlteiler



Nr. 16: Ausführungsvorschlag, Ansicht von der Seite



Nr. 17: Ausführungsvorschlag: $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$

Ausführungs-
vorschlag

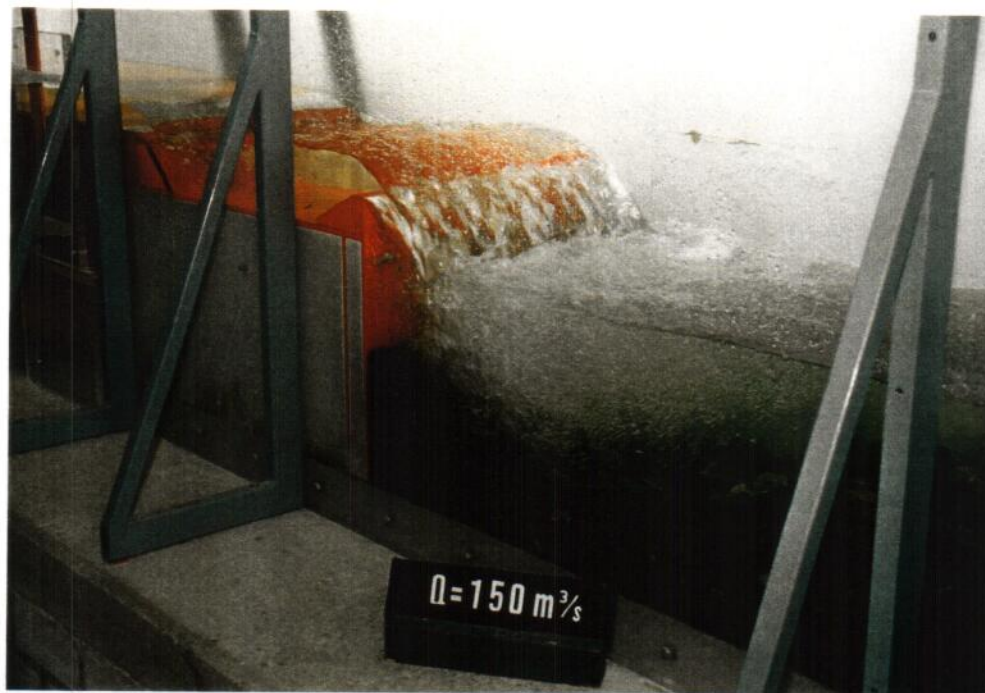


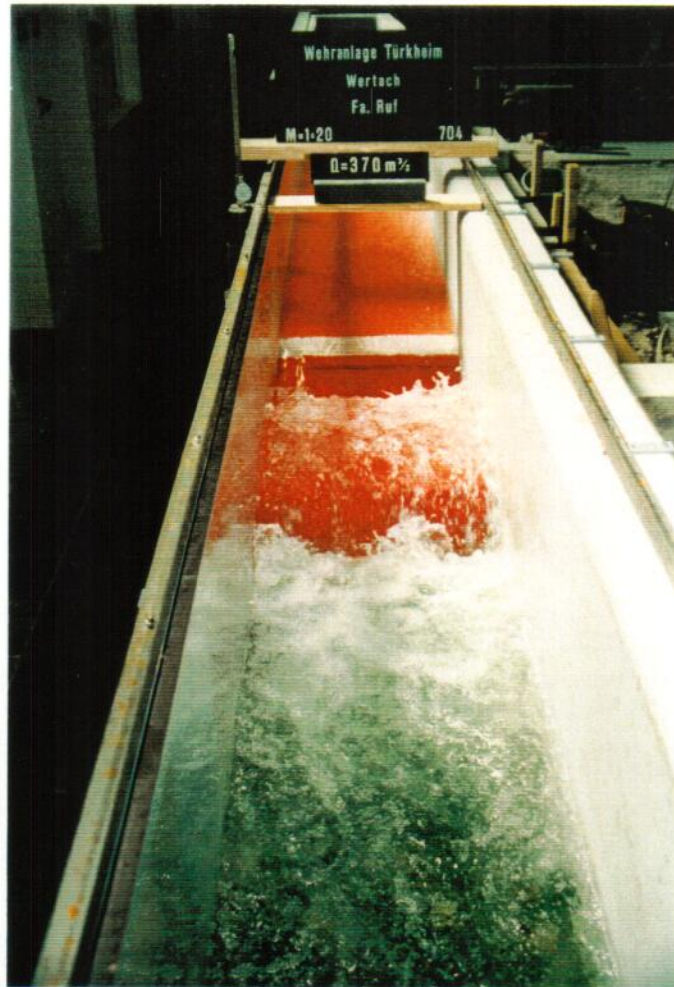
Bild 18:
 $Q = 150 \text{ m}^3/\text{s}$



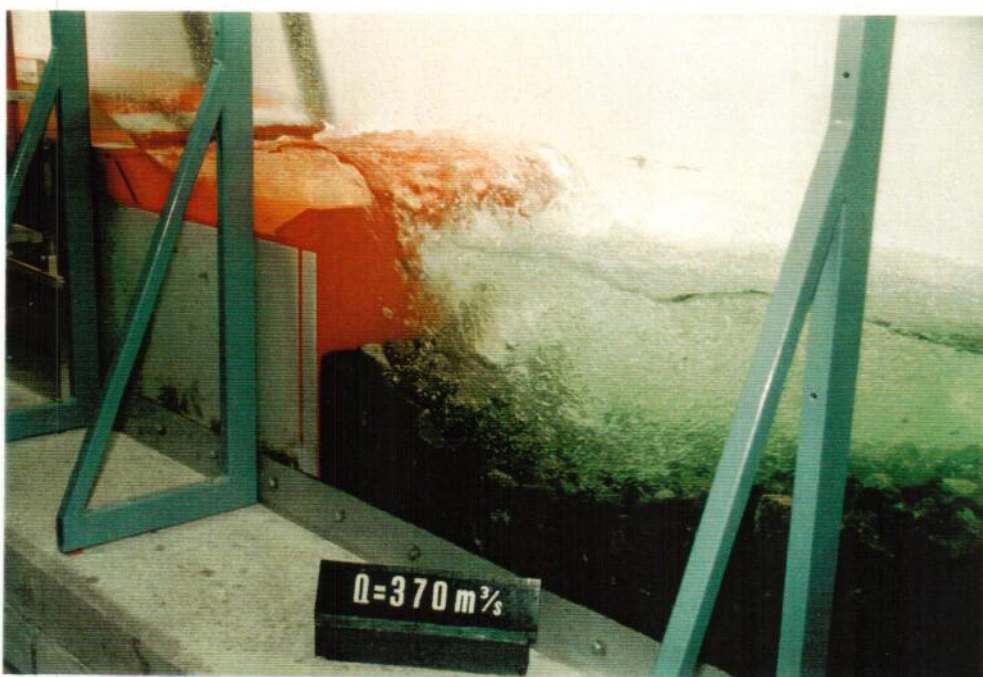
Bild 19:
 $Q = 250 \text{ m}^3/\text{s}$



Bild 20:
 $Q = 320 \text{ m}^3/\text{s}$



Nr. 21: Ausführungsvorschlag, $Q = 370 \text{ m}^3/\text{s}$, Ansicht von unterstrom



Nr. 22: Ausführungsvorschlag: $Q = 370 \text{ m}^3/\text{s}$, Ansicht von der Seite